

Karakteristik Abu Hasil Pembakaran Batubara Bukit Asam Sebagai Bahan Keramik

Coal Ash Characteristic from Bukit Asam as Raw Material for Ceramics Production

Pulung Karo-Karo & Simon Sembiring
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

ABSTRACT

This study was carried out to characterize coal ash obtained from Bukit Asam, Tarahan Lampung, after the samples were sintered at various temperatures ranging from 900°C - 1300°C. The characteristics of the investigated samples included density, porosity, hardness, structure and microstructure. The results indicated that porosity decreased with increasing sintering temperature, while density and hardness increased with increasing temperature. The x-ray diffraction (XRD) study revealed that the main crystalline phase was silicon dioxide (SiO₂), with the minor constituents of CaSiO₂, MgSiO₃, FeSiO₄ and Ca₁₂Al₁₄O₃₃. SEM investigations clearly demonstrated the presence of a fine crystallised phase dispersed in the microstructure.

Keywords: Coal ash, sintering, microstructure, XRD

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan berbagai jenis industri dan meningkatnya kebutuhan dasar mengakibatkan semakin berkurang ketersediaan bahan baku. Penyelidikan bahan baku yang potensial, berlimpah dan proses teknologi yang mudah dengan biaya relatif rendah sangat diperlukan. Dengan demikian, perlu kiranya dicarikan alternatif untuk mengatasi kekurangan bahan tersebut dengan mempelajari perilaku/sifat fisik dan kimia dari bahan, serta pengembangan teknologi pengolahan bahan baku sebagai bahan berdaya guna dalam mengatasi kekurangan bahan di masa yang akan datang.

Salah satu bahan baku yang perlu mendapat perhatian adalah limbah abu batubara sebagai abu padat (solid residual). Abu batubara sebagai limbah abu padat hasil proses pembakaran terdiri dari 20 % abu terbang dan 80 % abu dasar secara mineralogi yang tersusun dalam fasa amorf, kristalin dan memiliki daya rekat (pozzolan) dengan komposisi kimia utama SiO₂, Al₂O₃, MgO, dan komposisi pendukung CaO, NaO dan Fe₂O₃ (American Electric Power 2004). Abu dasar memiliki warna gelap, dengan ukuran butiran (partikel) kasar, sementara abu terbang berwarna terang dengan butiran yang halus. Berdasarkan pengamatan dengan mikroskop yang dilakukan oleh Sheng *et al.* (2003), Yang & Buenfeld (2001). Abu batubara mempunyai

morfologi mikrostruktur sferoid dengan ukuran partikel dalam beberapa mikron dengan komposisi pembentukan komposisi kimia terdiri dari SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, dan MgO dengan mineral tambahan mullite (Al₆Si₂O₁₃) dan magnite (Fe₃O₄). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Erol *et al.* (2003) dengan scanning electron microscopy (SEM) bahwa distribusi ukuran partikel abu batubara 1-2 µm terdiri dari mineral, quartz (SiO₂), mullite (Al₆Si₂O₁₃), enstatite (Mg,Fe SiO₃) dan anorthite (Ca, Al₂Si₂O₇).

Dari hasil beberapa penelitian yang sudah dilakukan, abu batubara sudah banyak digunakan sebagai bahan semen, keramik, gelas, batubata, batako, paving block, genteng, ubin berpori, ubin keramik, campuran aspal, perekat dan pelapis (gypsum). Berdasarkan komposisi dan sifat yang dimiliki abu batubara dengan proses vitrifikasi dan sintering dapat dimodifikasi abu batubara sesuai dengan yang diinginkan, Ferreira *et al.* (2003), Bouguerra *et al.* (1998) telah melakukan penelitian melalui proses vitrifikasi memperoleh kesimpulan bahwa abu batubara dapat digunakan sebagai bahan pembentuk gelas.

Melalui proses sintering, butiran (partikel) yang terkandung di dalam bahan abu batubara dapat dideposisikan dengan ukuran densitas dan porositas yang diinginkan sehingga abu batubara dapat memiliki sifat-sifat yang diinginkan seperti keuletan (*brittle*), kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*mechanical*

strength). Pertumbuhan butiran akibat proses sintering juga akan menunjukkan perubahan struktur dan mikrostruktur yang sangat mempengaruhi kekerasan. Erol *et al.* (2003), Valeria *et al.* (2000) dan Barbieri *et al.* (2002) telah melakukan penelitian terhadap abu batubara menunjukkan terbentuknya bahan gelas-keramik dengan fasa kristalin diopside-alumina $[\text{Ca}(\text{Mg,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$, cyclo wollstonite (CaSiO_3) dengan ukuran butiran $1.7 \mu\text{m}$ dengan proses sintering pada temperatur 980°C menunjukkan bahwa abu batubara memiliki densitas 2.6 gr/cm^3 dengan kekerasan maximum 5.5 Gpa .

Sintering merupakan proses yang penting dalam memodifikasi bahan keramik. Temperatur dan lamanya waktu sintering akan mempengaruhi proses pembentukan dan pendeposisian butiran dalam bahan agar dapat menghasilkan komposit dan struktur butiran yang halus dengan densitas yang tinggi. Dengan pertambahan waktu sintering, densitas akan semakin meningkat dan ukuran butiran (partikel) akan tersusun dengan teratur yang mengakibatkan jumlah pori-pori (porositas) semakin kecil (Dorre & Hübner 1984). Pada temperatur sintering, butiran akan saling bergabung hingga batas butiran sehingga jumlah pori (porositas) bahan akan semakin kecil. Proses penggabungan butiran terjadi melalui difusi yang menghasilkan penyusutan volume bahan. Hasil penelitian yang dilakukan Rahaman (1995) menunjukkan proses difusi akan memberikan efek terhadap perubahan fisis bahan setelah sintering yaitu densitas, porositas dan penyusutan volume dan pertumbuhan butiran. Perubahan densitas bahan keramik setelah proses sintering tergantung komposisi, ukuran butiran dan tingkat kelarutannya (solubility). Abu batubara mempunyai densitas bulk 2.96 gr/cm^3 (Sheng *et al.* 2003 dan Erol *et al.* 2003), sesuai dengan densitas keramik yang digunakan pada aplikasi industri dan proses sintering pada abu batubara mengakibatkan penurunan densitas terjadi karena terbakarnya carbon aktif yang ada pada abu batubara (Bethanis *et al.* 2003).

Porositas suatu bahan menggambarkan ruang-ruang kosong (pori) pada bahan. Porositas merupakan salah satu sifat fisik yang didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume total bahan. Nilai porositas dapat dinyatakan dalam persen atau desimal (ASTM 1982). Perlakuan panas seperti sintering pada suatu bahan

mempengaruhi porositas bahan tersebut. Pada material berpori, temperatur merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses difusi molekul. Molekul berpindah dengan kecepatan tinggi akan tetapi jangkauan jaraknya sangat dekat, sebelum bersentuhan dengan molekul yang lain dan berdefleksi dengan arah acak, sehingga densitas molekul rendah (Sherwood *et al.* 1975). Batubara jenis *lignit* dan *subbituminus* lebih berpori dari pada *bituminus* (Majizadeh *et al.* 1979). Abu dasar batubara mempunyai tekstur permukaan sangat berpori dengan *bulk specific gravity* rendah (Lovell 1991).

Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar porositas dan densitas pada temperatur sintering berbeda, dan kaitannya dengan struktur dan mikrostruktur terhadap kekerasan (*hardness*) setelah proses sintering.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Lampung untuk preparasi sampel yang siap untuk di karakterisasi, Laboratorium P.T Tambang Bukit Asam sebagai tempat proses pembakaran batubara dan di Batan Serpong untuk karakterisasi struktur, mikrostruktur dan uji kekerasan (*hardness*).

Preparasi sampel

Abu batubara penelitian ini diperoleh dari hasil pembakaran batubara di PT. Batubara Bukit Asam Lampung dengan komposisi kimia terdiri dari: SiO_2 (21,92%), Al_2O_3 (16%), MgO (7,9%), CaO (22,98%), SO_3 (11,85%) dan Fe_2O_3 16,47%). Langkah awal sampel abu batubara dihaluskan dengan menggunakan alat cross beater mill sehingga diperoleh ukuran butiran (partikel) yang halus sekitar $0,2 \text{ mm}$. Kemudian bubuk halus yang telah diperoleh dimasukkan kedalam gelas ukur dan dicampur dengan larutan ethanol dan diaduk dengan magnetik stirrer selama 24 jam. Campuran bubuk dipanaskan pada temperatur 120°C selama 24 jam untuk memadatkan dan menguapkan ethanol dan zat yang tidak dikehendaki. Langkah selanjutnya, serbuk dipress pada cetakan (die) berbentuk silinder dengan penekan hidrolik sebesar 4 ton sebanyak 15 sampel untuk mendapatkan sampel diameter 1 cm dengan tebal $0,5 \text{ cm}$. Sebagai langkah terakhir dilakukan proses sintering untuk temperatur 900°C , 1000°C , 1100°C , 1200°C dan 1300°C .

Pengukuran Densitas, Porositas dan Kekerasan Metode yang digunakan dalam pengukuran densitas dan porositas dilakukan dengan prinsip Archimedes (Australian Standard, 1989) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = M_d \rho_m (1/M_s - M_i) \quad \dots\dots(1)$$

dimana, ρ = densitas sampel (gr/cm³), ρ_m = densitas media pencelupan (gr/cm³), M_d = massa kering sampel (gr), M_s dan M_i adalah masing masing massa sampel jenuh (massa immersi) dan massa sampel jenuh di udara (Massa saturasi). Mengukur persentasi porositas (%P) dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\% P = (M_s - M_i) / (M_s - M_d) \times 100\% \quad \dots\dots(2)$$

Uji kekerasan dengan menggunakan microhardness test dengan menekan beberapa titik pada sampel abu batubara yang akan di uji. Nilai kekerasan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Vickers
Hardness

$$(HV) = 1,854 \times \frac{P}{2a^2} \times \frac{9,8}{1000} \text{ GPa}$$

$\dots\dots(3)$

Dimana HV =kekerasan bahan (GPa), P =beban yang diberikan pada bahan (kg) dan a = ½ diagonal hasil penekanan (mm).

Karakterisasi

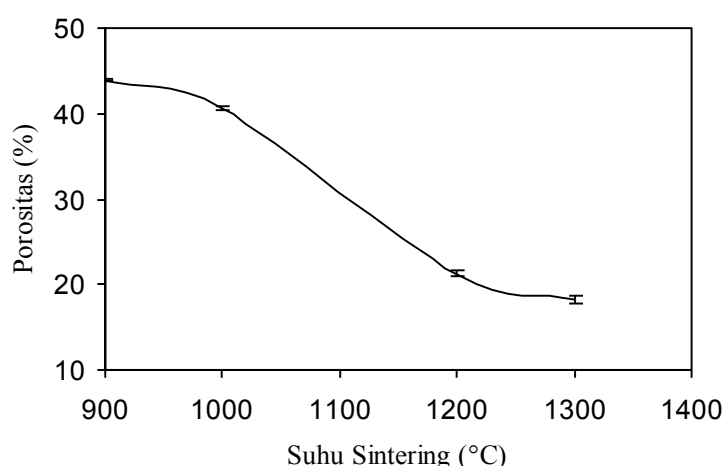
Sampel abu batubara yang telah mengalami proses sintering dengan temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C dikarakterisasi untuk menganalisa perubahan struktur yang dihasilkan dengan menggunakan metode difraksi sinar-x (XRD) dan analisis perubahan mikrostruktur dengan temperatur sintering 900°C, 1200°C dan 1300°C menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

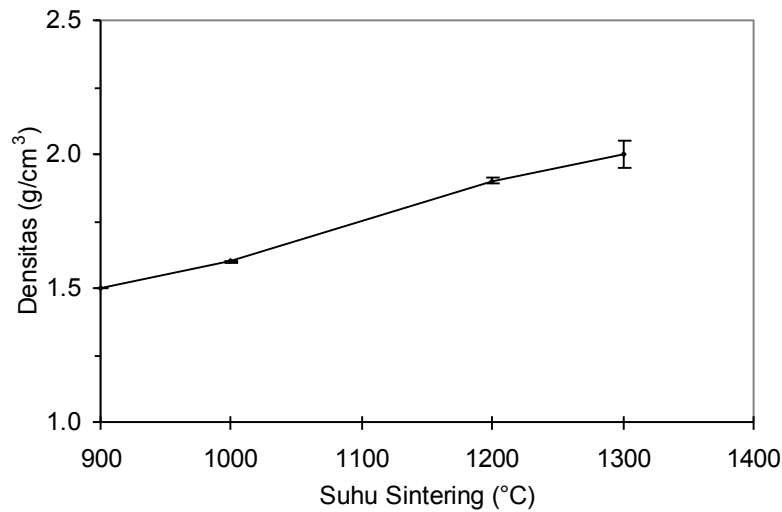
Porositas dan densitas

Hasil pengukuran porositas dan densitas dengan menggunakan prinsip Archimedes (Australian Standard 1989) pada sampel abu batubara Bukit Asam, Tarahan Lampung setelah disintering pada temperatur 900°C, 1000°C, 1200°C, dan 1300°C ditunjukkan masing masing pada Gambar 1 dan 2. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dengan kenaikan suhu sintering mengakibatkan peningkatan densitas dan sebaliknya porositas bahan abu batubara mengalami penurunan. Peningkatan densitas dan penurunan porositas terjadi karena pada suhu sintering yang makin tinggi, mengakibatkan butiran butiran partikel dalam abu batubara banyak yang berdifusi sehingga partikel saling kontak dan beraglomasi (Dorre & Hubner 1984), sehingga menutupi dan mengurangi jumlah ruang-ruang (pori-pori) untuk membentuk kerapatan lebih padat.

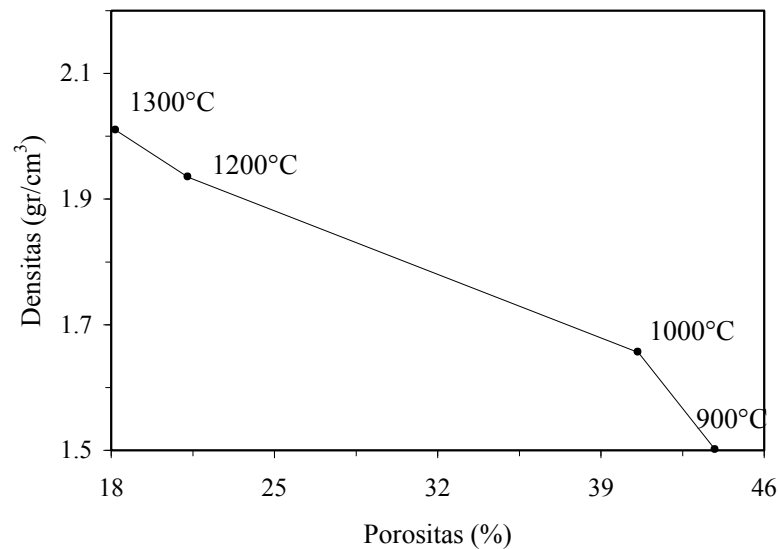
Hubungan antara densitas dan porositas bahan abu batubara pada suhu sintering yang berbeda (Gambar 3) menunjukkan bahwa densitas menurun seiring dengan kenaikan porositas.



Gambar 1. Porositas sampel abu dasar batubara Bukit Asam setelah disintering dengan variasi suhu 900°C, 1000°C, 1200°C, dan 1300°C. Error bar menunjukkan deviasi rata-rata (\pm).



Gambar 2. Densitas sampel abu dasar batubara Bukit Asam setelah disintering dengan variasi suhu 900°C, 1000°C, 1200°C, dan 1300°C. *Error bar* menunjukkan deviasi rata-rata \pm .

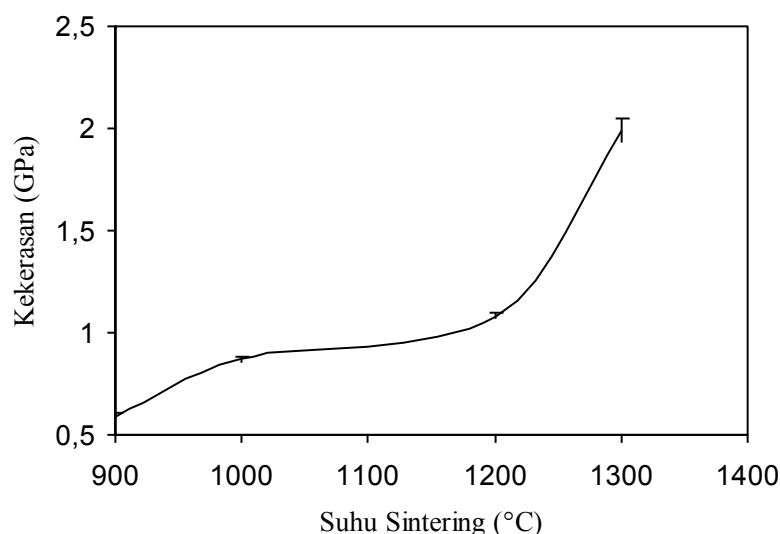


Gambar 3. Hubungan porositas dan densitas sampel abu batubara.

Hasil ini menunjukkan bahwa abu batubara yang berporositas besar mengindikasikan butiran butiran partikel yang menyusun abu batu bara belum berdifusi dan berpadu antar partikel yang satu dengan yang lain sehingga kerapatannya semakin kecil. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian dari Bethanis *et al.* (2003) yang menyimpulkan bahwa penyusun abu batu bara terdiri beragam fasa diantaranya $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, MgSiO_3 dan $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.

Kekerasan (*Hardness*)

Gambar 4 menyajikan hubungan perubahan nilai kekerasan sampel abu batubara dengan suhu sintering. Perubahan tersebut, menunjukkan bahwa nilai kekerasan abu batubara mengalami peningkatan secara perlahan hingga suhu sintering 1200°C akibat energi termal yang dimiliki masih rendah untuk melakukan proses pembentukan dan pendeposisian dari partikel penyusunnya (Tabel 1).



Gambar 4. Hubungan nilai kekerasan sampel abu dasar batubara Bukit Asam terhadap peningkatan suhu sintering. *Error bar* menunjukkan deviasi rata-rata (\pm).

Sebaliknya diatas suhu sintering 1200°C mengalami peningkatan yang tajam, karena energi termal cukup untuk proses pembentukan dan pendeposisian butiran dari penyusunnya (Dorre & Hubner 1984). Menurut penelitian sebelumnya (Erol *et al.* 2003) menyimpulkan bahwa perubahan nilai kekerasan dapat terjadi akibat adanya perubahan struktur pada saat proses sintering, yang didukung hasil analisis struktur pada Tabel 1.

Struktur dan mikro struktur

Analisis difraksi sinar-x (XRD) sampel pada suhu sintering 900°C, 1000°C, 1100°C ditunjukkan pada Gambar 5 dan analisis mikrostruktur abu batubara yang disintering pada temperatur 900°C, 1200°C dan 1300°C ditunjukkan pada Gambar 6 (a), (b) dan (c). Hasil identifikasi perubahan struktur abu batubara pada suhu sintering 900°C, 1000°C dan 1100°C ditunjukkan pada Tabel 1. Penentuan intensitas puncak difraksi sampel dilakukan menggunakan metode pencocokan atau *search match analysis* melalui program PCDFWIN 1997 dengan nomor file PDF (*Power Diffraction Files*) setelah dikurangi dengan puncak intensitas latar belakang (*Background*).

Hasil *search match analysis* pada sampel abu batubara (Tabel 1) menunjukkan bahwa struktur pembentuk abu batubara didominasi

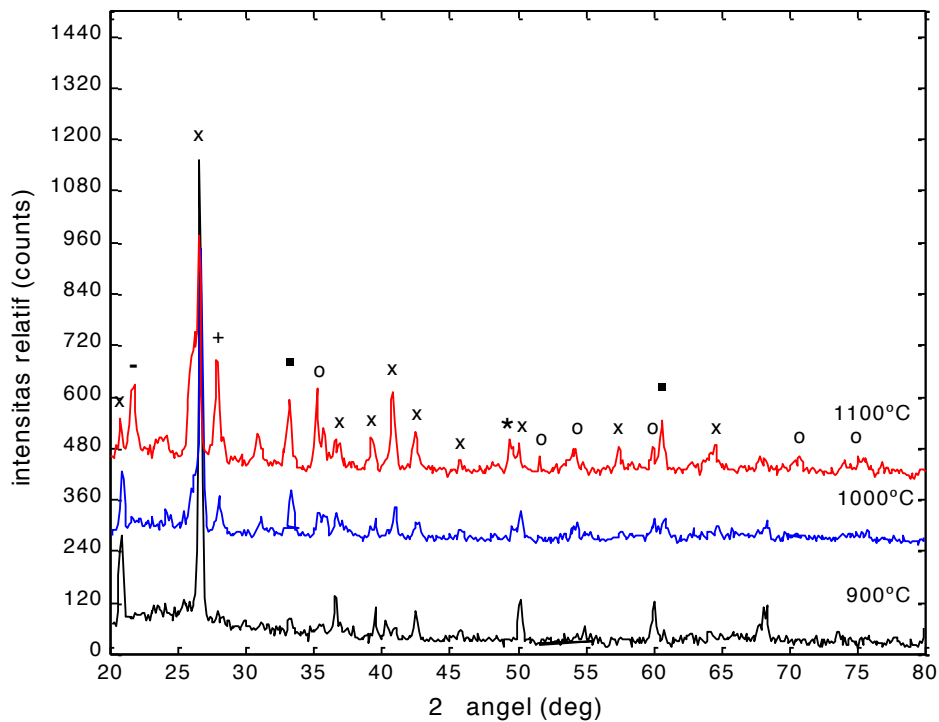
oleh SiO₂ (*Quartz*) pada puncak tertinggi ($2\theta = 26,6^\circ$) sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Sheng *et al.* 2003, Yang & Buenfeld 2001) dengan struktur pendukung antara lain, CaSiO₃ (*Cyclo wollstonite*) ($2\theta = 27,9^\circ$), Ca₁₂Al₁₄O₃₃ (*Mayenite*) ($2\theta = 33,3^\circ$), Fe₂SiO₄ (*Fayallite*) ($2\theta = 35,2^\circ$), dan MgSiO₃ (*Clinoenstatite*) ($2\theta = 31^\circ$).

Hasil identifikasi phase (Tabel 1) menunjukkan bahwa intensitas phase SiO₂ menurun dengan meningkatnya temperatur sintering yang mengindikasikan bahwa pembentukan SiO₂ semakin menurun. Penurunan pembentukan SiO₂, akibat ketidakstabilan atom atom Si sehingga memudahkan berinteraksi dengan atom lain (Achmad & Tupamahu 1992) dan pembentukan struktur baru selain struktur pembentuknya (Bethanis *et al.* 2003) yang ditunjukkan dengan teridentifikasinya struktur lain yaitu CaSiO₃, MgSiO₃, Fe₂SiO₄, dan Ca₁₂Al₁₄O₃₃.

SEM analisis sampel abu batubara (Gambar 6 (a), (b), (c)) menunjukkan bahwa pada suhu sintering 900°C, ukuran butir yang beragam dengan pori yang besar (tanda panah). Dengan kenaikan temperatur sintering ukuran butir mulai seragam (homogen) dengan pori semakin berkurang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan sintering mengakibatkan perubahan densitas, porositas, dan struktur mikro, sekaligus mempengaruhi nilai kekerasan. Perubahan akibat kenaikan suhu sintering menunjukkan peningkatan densitas dan

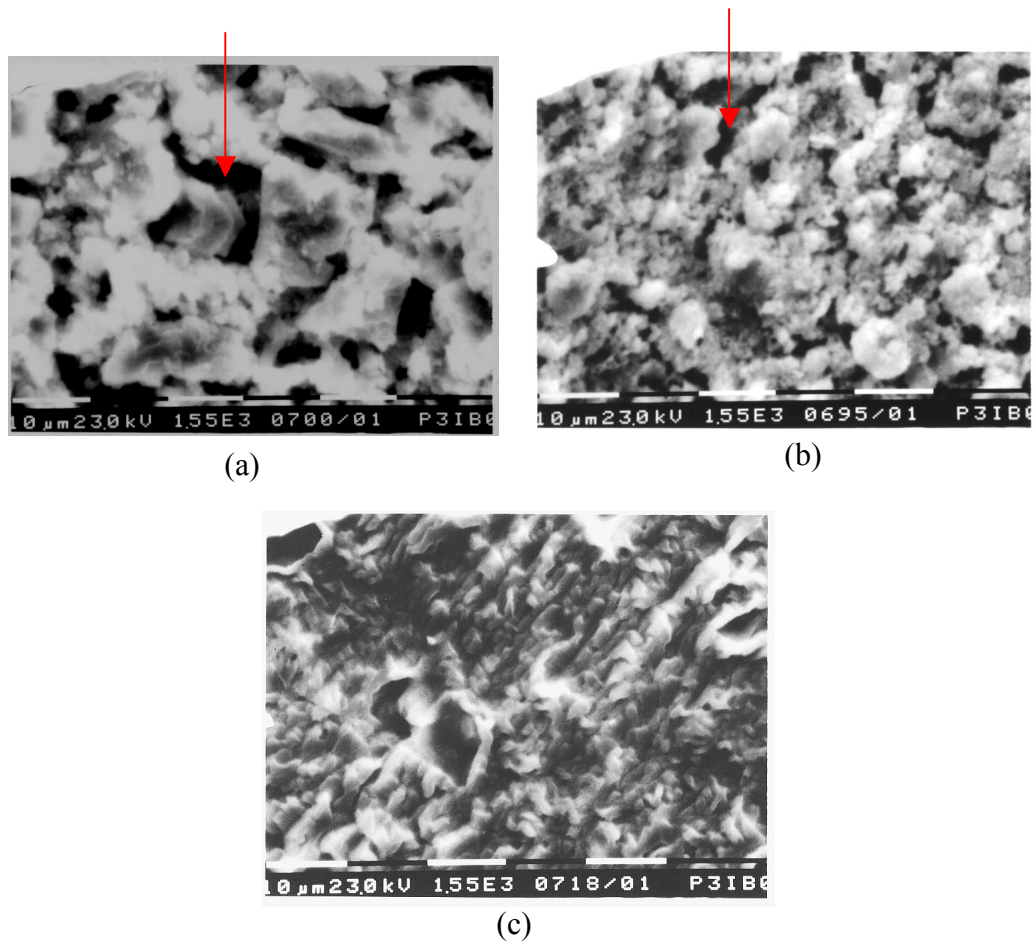
kekerasan. Meningkatnya densitas akan menurunkan porositas dan struktur mikro akan cenderung homogen (seragam) dan terorientasi serta terdifusi dengan baik, sehingga kekerasan sampel meningkat.



Gambar 5. Pola intensitas XRD sampel abu batubara bukit asam dengan suhu pemanasan 900°C, 1000°C, 1100°C. Tanda: x = SiO₂, o = Fe₂SiO₄, ■ = Ca₁₂Al₁₄O₃₃, + = CaSiO₃, - = MgSiO₃. Panjang gelombang = 1.54056 Å.

Tabel 1. Identifikasi Struktur Abu Batubara pada temperatur sintering 900°C, 1000°C, dan 1100°C.

Suhu Sintering	Phase (Struktur)	Intensitas (Puncak tertinggi)
900 °C	SiO ₂ (PDF File-46-1045)	575
1000 °C	SiO ₂ (PDF File-46-1045)	250
	CaSiO ₃ (PDF File-10-0486)	16
	MgSiO ₃ (PDF File-35-0610)	19
	Fe ₂ SiO ₄ (PDF File-31-0649)	10
	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃ (PDF-09-0413)	8
1100 °C	SiO ₂ (PDF File-46-1045)	102
	CaSiO ₃ (PDF File-10-0486)	51
	MgSiO ₃ (PDF File-35-0610)	14
	Fe ₂ SiO ₄ (PDF File-31-0649)	14
	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃ (PDF-09-0413)	33



Gambar 6. Struktur mikro sampel abu batubara Bukit Asam dengan suhu sintering (a) 900°C, (b) 1200°C dan (c) 1300°C

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan dan karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik fisis sampel abu batubara yang diperoleh menunjukkan dengan kenaikan suhu sintering menghasilkan peningkatan densitas dan kekerasan, diikuti dengan penurunan porositas. Disamping itu,

dari hasil *search-match* analisis struktur yang dominan dalam sampel abu batubara Bukit Asam, Tarahan Lampung adalah SiO_2 yang cenderung menurun dengan kenaikan suhu sintering dan sebaliknya struktur pendukung CaSiO_3 , $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, FeSiO_4 dan MgSiO_3 cenderung meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintering, diikuti dengan tingkat homogenitas dengan distribusi ukuran butiran dan pori-pori semakin kecil. Berdasarkan

komposisi struktur pembentuknya, abu batubara Bukit Asam Tarahan Lampung layak untuk dimanfaatkan sebagai bahan keramik.

Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan agar dilakukan analisis XRD pada sampel abu dasar batubara Bukit Asam diatas temperatur sintering 1300°C, namun di bawah titik lebur bahan untuk mendapatkan sifat mekanik yaitu kekerasan maximum.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H., dan Tupahuma, M. S., (1992), *Struktur Atom, Struktur Molekul, dan Sistem Periodik*, PT. Citra Aditya Bakti, Bandung, hal:138-145.
- American Electric Power, (2004), *Concrete and Cement Reserch Laboratory*, A Division of the U.S. Bureu of Standards, 35, p12-18
- American Society for Testing Material, (1982), *A S T M Book of Standards*, Part 19, Philadelphia.
- Australian Standards, (1989), *Refractories and Refractory Materials Physical Test Method*, 5: The Determination of Density, Porosity and Water Adsorption: 1774.5, Standard Australian.
- Barbieri, L., Corradi, A., Lancellotti, I. (2002), "Thermal and Chemical Behaviour of Different Glasses Containing steel Fly Ash and their Transformation into Glass-Ceramics", *Journal of European Ceramics society* 22, p1759-1765.
- Bethanis, S., Sollas, C. J., and Cheeseman, C.R., (2003), *Properties and Microstructure of Sintered Incinerator Bottom Ash*, U K Engineering and Physical Sciences Reserch Council (ESPRC) WMR 3 Programme.
- Bouguerra, A., Ledhem, A., de Barquin, F., Dhilly, R.M., Queneudec, M. (1998), Effect of Microstructure on the Mechanical and thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared from Clay, Cement and wood Aggregates *Cement and Concrete Research*, 28, p1179-1190.
- Dorre, E., and Hubner, H., (1984), *Alumina*, Library of Congress Cataloging inPublicatin Data, Cambridge.
- Erol, M., Demirle, U., and Kücükbayurk, S., (2003), Characterization Investigation of Glass - Ceramic Developed from Syntomer Thermal
- Power Plant Fly Ash, *Journal of European Ceramic Society* 23, p757-763.
- Ferriera, C., Ribeiro, A., and Ottesen, L., (2003), Possible Application for Minicipal Solid Waste Fly Ash, *Journal of Hazardous Material B* 96, p201-216.
- Lovell, C. W., Huang, and J. E. Lovell, (1991), Bottom Ash Highway Material, *Presented at the 70th Annual Meeting of Transportation Reserch Board*, Washington, D.C.
- Majizadeh, Kamran, Bokowski, G., and El-Mitiny, R., (1979), Material Characteristic of Power Plant Bottom Ashers and Their Bituminus Mixtures: A Laboratory Investigation, *Proceeding of Fifth International Ash Utilization Symposium U.S Department of Energy*, West Virginia.
- Rahaman, M.N., (1995), "Ceramics pressing and sintering", Department of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla Rolla. Isssouri, secodn addition.
- Sheng, J., Huang, B., and Zhang, J., (2003), Production of Glass from Coal Fly Ash Fuel, 82, p181-185.
- Sherwood, T. K., Pigford R. L., and Wilke C. R., (1975), *Mass Transfer*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, p 39-40.
- Valeria, Barbosa, L.L., Kenneth, Mackenzie, J.D., Thaumaturgo, C. (2000), "Synthesis and Characterisation of Materils Based on Inorganic Polymer of alumina and silica: Sodium Polysialate Polymers", 2, 309-317.
- Yang, N and Buenfeld, N.R., (2001), "Binary Segmentation of Aggregate in SEM Image Analysis of Concrete, *Cement and Concrete Research*, 32, 437-441).

Ucapan terima kasih

Penelitian ini dapat dilakukan berkat bantuan dana Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan melalui Penelitian Dosen Muda, DIKTI Tahun anggaran 2005. Untuk itu, melalui tulisan ini, peneliti mengucapkan terima kasih kepada DIKTI.